

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación de propiedades físico-mecánicas de una película comestible
a base de cáscara de papa y gelatina con aceite esencial de romero
como agente antimicrobiano**

Estudiante

Luvina Gisselle Castillo Urquia

Asesores

Luis Fernando Osorio, Ph.D.

Luis Fernando Maldonado, Ph.D.

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexo.....	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	13
Localización del Estudio	13
Materiales y Equipo	13
Elaboración de la Harina de Cáscara de Papa.....	13
Elaboración de la Película	14
Análisis de Color.....	16
Análisis de Humedad.....	16
Cuantificación de Fibra Cruda	17
Cuantificación de Almidón.....	18
Caracterización de la Película	19
Análisis Físicos.....	19
Grosor	19
Resistencia a la Perforación	19
Módulo de Young.....	19
Fuerza de Tensión	20
Color.....	20

Análisis de Barrera	20
Solubilidad en Agua	21
Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA).....	21
Análisis Microbiológicos.....	22
pH.....	22
Diseño Experimental	22
Análisis Estadístico	23
Resultados y Discusión.....	24
Caracterización de la Harina de Cáscara de Papa	24
Color.....	24
Fibra Cruda.....	25
Almidón.....	26
Humedad.....	26
pH de las Películas.....	26
Efecto de la Proporción Gelatina:Harina de Cáscara de Papa y Aceite Esencial de Romero en el Grosor de las Películas	27
Efecto de la Proporción Gelatina:Harina y Aceite Esencial de Romero en la Resistencia a Perforación de las Películas	29
Efecto en el Módulo de Young y la Fuerza de Tensión	30
Efecto de la Proporción Gelatina: Harina de Cáscara de Papa y Aceite Esencial de Romero en el Color	32
Efecto de la Proporción Gelatina:Harina de Cáscara de Papa y Aceite Esencial de Romero en la Solubilidad en Agua y Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)	33
Propiedades Antimicrobianas de las Películas.....	35
Conclusiones	37

Recomendaciones.....38

Referencias.....39

Anexo44

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Formulación para elaboración de las películas, según tratamiento	15
Cuadro 2 Diseño Experimental	22
Cuadro 3 Caracterización de la Harina de Cáscara de Papa	25
Cuadro 4 Efecto de la proporción gelatina: HC de papa y AE de romero en el pH de las películas	27
Cuadro 5 Probabilidad e interacción de la relación G: HC y AE de romero en el pH de las películas...	27
Cuadro 6 Grosor de las películas.....	28
Cuadro 7 Probabilidad e interacción de la G: HC de papa y AE de romero en el grosor	28
Cuadro 8 Resistencia a la perforación de las películas	29
Cuadro 9 Probabilidad e interacción de la G:HC de papa y AE de romero en la resistencia a la perforación.....	30
Cuadro 10 Módulo de Young y Fuerza de Tensión	30
Cuadro 11 Probabilidad e interacción de la G:HC de papa y AE de romero en el Módulo de Young y la Fuerza de Tensión	31
Cuadro 12 Efecto de la proporción gelatina: HC de papa y AE de romero en el color de las películas	32
Cuadro 13 Probabilidad e interacción de la relación G: HC y AE de romero en el color	33
Cuadro 14 Efecto de la Proporción G: HC de Papa y AE de Romero en la Solubilidad y PVA	34
Cuadro 15 Probabilidad e interacción de la relación G: HC y AE de romero en la solubilidad	34
Cuadro 16 Efecto de la proporción G: HC de papa y AE de romero en la actividad antimicrobiana....	35
Cuadro 17 Probabilidad e interacción de la relación G: HC y AE de romero en la actividad antimicrobiana de las películas contra <i>Salmonella Typhimurium</i>	36

Índice de Figuras

Figura 1 Flujo de procesos de elaboración de harina de cáscara papa	14
Figura 2 Flujo de procesos para elaboración de la película	15
Figura 3 Color de la harina de cáscara de papa utilizada en la elaboración de las películas.....	25

Índice de Anexo

Anexo A Cuadro de correlación entre las propiedades fisico-mecánicas, químicas y de barrera.....	44
--	----

Resumen

Las películas comestibles surgen como una alternativa natural para la conservación de los alimentos. Estas pueden ser empleadas como vehículo de otros componentes tales como los antimicrobianos, los cuales, poseen efecto en sus características. Este estudio evaluó el efecto de la proporción gelatina:harina de cáscara de papa y aceite esencial de romero en las propiedades mecánicas y de barrera de una película comestible y se determinó la actividad antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella Typhimurium*. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2×2 , donde se evaluó la relación gelatina:harina de cáscara y aceite esencial de romero. La resistencia a la perforación, Módulo de Young, fuerza de tensión, grosor, solubilidad, PVA y pH para las películas fueron de 57.1996 ± 4.45 N/mm, 36.2372 ± 1.91 MPa, 4.8500 ± 0.1200 MPa, 0.4328 ± 0.0100 mm, $80.0980 \pm 7.6600\%$, y 0.0050 ± 0.0003 g/h*m*KPa y 5.28 ± 0.03 , respectivamente. La inclusión de harina de cáscara redujo la PVA y aumentó la solubilidad en agua. La gelatina aumentó la PVA, mejoró la resistencia a perforación, y fuerza de tensión, mientras que el aceite esencial redujo la fragilidad y aumentó la resistencia a perforación. Las películas con 12.8% de gelatina, 4.3% de harina de papa, 6.4% de glicerol y 1.5% de aceite esencial de romero inhibieron a *S. Typhimurium*, más no inhibieron a *L. monocytogenes*. Los resultados obtenidos incentivan el uso de este tipo de película como empaque activo debido a sus propiedades mecánicas y aplicaciones antimicrobianas.

Palabras clave: Antimicrobiano, empaques activos, *Listeria*, resistencia a perforación, *Salmonella*.

Abstract

Edible films emerge as a natural alternative for the preservation of food. These can be used as a vehicle for other components such as antimicrobials, which affect their characteristics. This study evaluated the effect of the gelatin: potato peel flour and rosemary essential oil ratio on the mechanical and barrier properties of an edible film. The antimicrobial activity against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Typhimurium was also determined. A Completely Randomized Design was used with a 2 × 2 factorial arrangement, where the gelatin:shell flour and essential rosemary ratio was evaluated. The puncture resistance, Young's modulus, tensile strength, thickness, solubility, PVA, and pH for the films were 57.1996 ± 4.4500 N / mm, 36.2372 ± 1.9100 MPa, 4.8500 ± 0.1200 MPa, 0.4328 ± 0.0100 mm, $80.0980 \pm 7.6600\%$, and 0.0050 ± 0.0003 g / h * m * KPa and 5.28 ± 0.03 , respectively. The inclusion of husk meal reduced PVA and increased water solubility. Gelatin increased PVA, improved puncture resistance, and tensile strength, while essential oil reduced brittleness and increased puncture resistance. Films with 12.8% gelatin, 4.3% potato flour, 6.4% glycerol, and 1.5% rosemary essential oil inhibited *S. Typhimurium* but did not inhibit *L. monocytogenes*. The results obtained encourage the use of this type of film as active packaging due to its mechanical properties and antimicrobial applications.

Keywords: Active packaging, antimicrobial, *Listeria*, puncture resistance, *Salmonella*.

Introducción

Las películas comestibles son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas, carbohidratos o mezclas de estos componentes, que les confieren diferentes propiedades fisicoquímicas (Ramos García et al. 2010). Estos han servido como vehículo para incorporar sustancias como: Vitaminas, antioxidantes, sustancias antimicrobianas y antifúngicas (Cesar 2018).

Las películas comestibles de almidón y gelatina han sido ampliamente estudiadas debido a su potencial en la conservación de alimentos (León-Leyva et al. 2018). La gelatina es una proteína soluble obtenida por hidrólisis parcial de colágeno, principal componente proteico fibroso insoluble de los huesos, cartílagos y pieles con aplicaciones de alto potencial en alimentos (Kavoosi et al. 2014), su uso en películas ha logrado incrementar la vida anaquel de diversos productos, incluso duplicándola en guayabas (Aguilar-Méndez et al. 2012).

El desarrollo en el uso de empaques ha venido creciendo en gran medida debido a la necesidad de reducir y sustituir el empleo de plásticos por materiales menos agresivos con el medio ambiente (Aguilar-Méndez et al. 2012). Los desperdicios obtenidos de la papa han sido empleados para formación de bioetanol, extracción de almidón y en empaques biodegradables. La cáscara de la papa contiene principalmente fibra, almidón y polifenoles que han sido estudiados y empleados principalmente como antioxidantes (Moreno y Ottens 2021), además al ser uno de los cultivos de mayor producción mundial brinda la posibilidad de emplearse en la industria alimentaria.

Las características físicas y mecánicas de las películas comestibles dependen directamente de su formulación y de estas, su uso final (Solano-Doblado et al. 2018), debido a eso, en muchas ocasiones es necesario añadir un plastificante para que la película no sea quebradiza y se pueda manejar fácilmente. Los plastificantes más usados en películas son sorbitol, glicerol, aceites y ceras. Sin embargo, las formuladas con glicerol son más flexibles en comparación con las obtenidas usando otros plastificantes (Aguilar 2005; Domínguez y Jiménez 2012; Chariguamán Chanatasig 2015; Arias-Rios et al. 2017).

Asimismo, las propiedades de barrera tales como la solubilidad, la permeabilidad al vapor de agua y la capacidad de hinchamiento son importantes porque determinan la protección que se le brinda al alimento mientras que este está en contacto con el agua (Bohórquez et al. 2016).

Por años, la industria alimentaria ha investigado nuevas alternativas para conservar alimentos con compuestos no sintéticos y de origen natural. El uso de aceites esenciales surge como efecto de esta necesidad caracterizado por poseer poder antimicrobiano (Araujo Cruz 2019). Al adicionar a las formulaciones productos como los aceites esenciales, se evita el desarrollo de microorganismos, se prolonga la vida de anaquel de los productos agrícolas, y se mantienen las propiedades sensoriales de éstos (Ramos García et al. 2010).

Las películas comestibles son empleadas en diferentes alimentos desde carnes (Quintanilla Portillo 2016) hasta frutas y hortalizas (Ramos García et al. 2010). *Salmonella* constituye uno de los agentes infecciosos más comunes y ampliamente distribuidos dentro de las enfermedades transmitidas por los alimentos, instituyéndose en un problema de salud pública y animal (Fierro et al. 2011). Demostrando así una necesidad a alternativas para el control de estas bacterias, tales como los empaques activos.

En esta investigación se evaluaron los efectos de estos factores en las propiedades de la película y en su poder antimicrobiano contra un microorganismo Gram positivo (*Listeria monocytogenes*) y un microorganismo Gram negativo (*Salmonella Typhimurium*) para determinar la efectividad de las películas en la inhibición de estos.

Los objetivos de este estudio fueron:

Evaluar el efecto de la proporción gelatina:harina de cáscara de papa y aceite esencial de romero en las propiedades mecánicas y de barrera de una película comestible.

Determinar la actividad antimicrobiana del aceite esencial de romero en una película comestible contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella entérica* subsp. Entérica serovar Typhimurium.

Materiales y Métodos

Localización del Estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ) y el Laboratorio de Microbiología de Alimentos (LMAZ) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el km 30 de la carretera que conduce de Tegucigalpa a Danlí en el Valle del Yeguaré, Departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Materiales y Equipo

Para la realización de las películas se utilizó gelatina, cáscara de papa (Para elaboración de harina), glicerol (Como plastificante), aceite esencial de romero como antimicrobiano y agua desionizada. Para los análisis microbiológicos se utilizaron cepas de *Listeria monocytogenes* (ATCC 19112) y *Salmonella Typhimurium* (ATCC 14028), obtenidas de la colección de cultivos del Laboratorio de Análisis Microbiológicos de Zamorano (LMAZ).

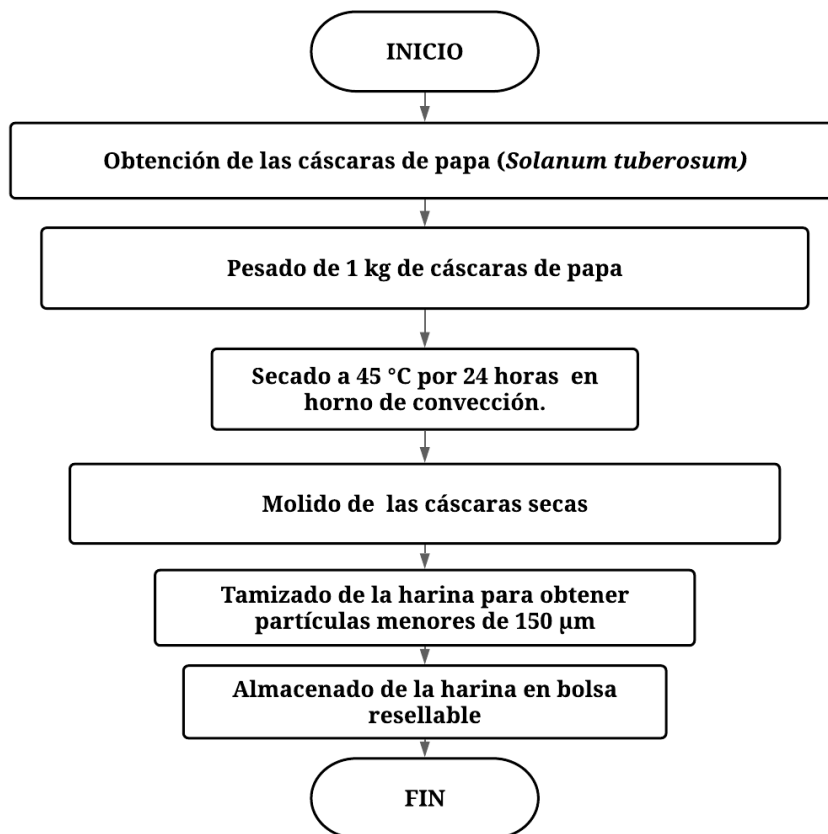
El equipo utilizado fue balanza analítica OHAUS Adventurer, estufa con agitador magnético, Barnstead Thermolyne Cimarec, cámara de estabilidad NORLAKE Scientific, desecador, horno Fisher Scientific 750F, molino Foss CT193 Cyclotec, tamices, vortex Fisher Scientific digital, micrómetro digital Mitutoyo, analizador de textura Brookfield CT3 4500, colorímetro Colorflex Hunterlab, espectrofotómetro Agilent Tech, incubadora Thermolyne, y mechero.

Elaboración de la Harina de Cáscara de Papa

La Figura 1 muestra el proceso utilizado para la elaboración de la harina de cáscara de papa. Se utilizó como materia prima 1 kg de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) resultantes del pelado del tubérculo como desecho procedente de la Planta de Postcosecha de Zamorano. Se secaron en un horno Fisher Scientific 750F a 45 ± 2 °C por 24 horas. Posteriormente, se realizó la molienda en un molino de martillo y se tamizó la harina para obtener un tamaño de partícula menor de 150 μm .

Figura 1

Flujo de procesos de elaboración de harina de cáscara papa.



Elaboración de la Película

Se realizaron pruebas preliminares para ajustar el flujo de proceso y la formulación de cada tratamiento. La formulación final se muestra en el Cuadro 1 y el flujo de proceso empleado se muestra en la Figura 2. Se utilizó el método de casting (Vaciado en placas) para la elaboración de la película. Se mezcló el glicerol con el 50% del total de agua a utilizar a 50 ± 2 °C durante 30 minutos a 350 rpm. Luego se añadió el restante 50% de agua, gelatina, harina de cáscara de papa, y el aceite esencial de romero, estos se mantuvieron en agitación magnética constante hasta alcanzar 60 °C. Se procedió a enfriar la solución hasta 50 °C para su posterior vertido, secado y acondicionamiento.

Cuadro 1

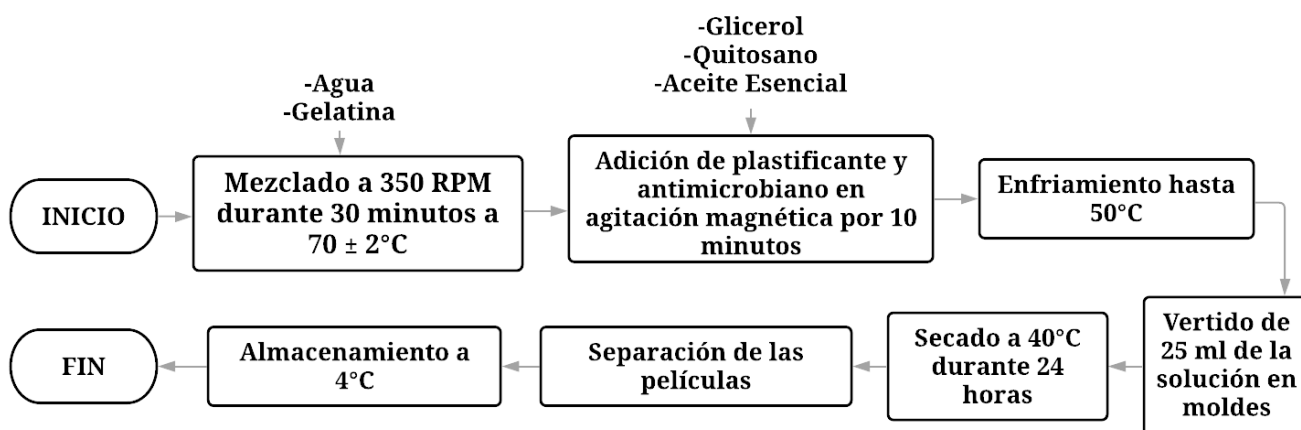
Formulación para elaboración de las películas, según tratamiento.

Tratamiento	Material/Sustancia	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
TRAT1	Gelatina	16.8000	12.8
	Glicerol	8.4000	6.4
	HC de papa ¹	5.6000	4.3
	AE de romero ²	0.7000	0.5
	Agua	100.0000	76.0
TRAT2	Gelatina	16.8000	12.8
	Glicerol	8.4000	6.4
	HC de papa ¹	5.6000	4.3
	AE de romero ²	2.0000	1.5
	Agua	98.7000	75.1
TRAT3	Gelatina	11.2000	8.5
	Glicerol	8.4000	6.4
	HC de papa ¹	11.2000	8.5
	AE de romero ²	0.7000	0.5
	Agua	100.0000	76.0
TRAT4	Gelatina	11.2000	8.5
	Glicerol	8.4000	6.4
	HC de papa ¹	11.2000	8.5
	AE de romero ²	2.0000	1.5
	Agua	98.7000	75.1

Nota. HC de papa¹ = Harina de cáscara de papa. AE de romero² = Aceite esencial de romero.

Figura 2

Flujo de procesos para elaboración de la película.



Secado y Acondicionamiento de Película

Posterior al enfriamiento se vertieron 0.25 g de solución por cada cm^2 en platos Petri, luego se colocaron en una cámara estabilizadora NORLAKE Scientific a $40\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas para el proceso de secado.

Después, se separaron manualmente las películas de los platos Petri y se almacenaron durante siete días en desecadores con una solución saturada de hidróxido de sodio (NaOH) al 60%. Luego de este período de acondicionamiento se procedió a la realización de los análisis físicos, de barrera y microbiológicos.

Caracterización de la Harina de Cáscara de Papa

Se realizaron análisis físicos (Color) y químicos (Humedad, fibra y contenido de almidón) para conocer las características de la harina que se empleó en la elaboración de las películas.

Análisis de Color

Se colocaron 3 g de harina en un colorímetro Colorflex Hunterlab®, con una escala L a b, en la cual:

L corresponde a la luminosidad, donde 0 representa negro y 100 blanco.

a va desde -60 para verde y +60 para tonalidades rojas.

b va desde -60 para azul y +60 para tonalidades amarillas (Anzueto 2019).

Se realizó el análisis de la muestra por triplicado.

Análisis de Humedad

Se determinó la humedad por triplicado mediante el método AOAC 934.01. Se calentaron los crisoles de porcelana a $105\text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 minutos, luego, se enfriaron y pesaron antes de la colocación de las muestras. Se pesó 3.0000 ± 0.0050 g de harina de cáscara de papa en cada crisol y se dejó dentro del horno de convección a $105\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas.

Luego de este periodo, se enfrió y pesó cada crisol con la muestra seca en una balanza analítica. Para obtener los resultados de humedad en porcentaje (%) se siguió la Ecuación 1:

$$H(\%) = \frac{(C+MH)-(C+MS)}{(C+MH)-C} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

C = Peso Crisol (g)

MH = Muestra Húmeda (g)

MS = Muestra Seca (g)

Cuantificación de Fibra Cruda

Se siguió la metodología acorde con el protocolo AOAC 978.10, y se realizó el análisis por triplicado. Se pesó 1.0000 ± 0.0050 g de la harina, y se colocaron en bolsas filtro. Estas bolsas filtro más un blanco, fueron selladas con calor y se colocaron en el equipo ANKOM. Se agregó 2 L de una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0.255 N, la cual se agitó y calentó durante 30 minutos. Después, se eliminó la solución caliente y se realizaron tres lavados de cinco minutos cada uno, con 2 L de agua destilada a 100 °C en agitación. Se repitió el proceso descrito anteriormente, sin embargo, en lugar del uso de ácido, se usó una solución de 2 L de hidróxido de sodio (NaOH) a 0.313 N.

Después, se removieron las bolsas filtro del equipo, y se dejaron sumergidas en metanol durante 3 minutos. Posteriormente, se dejaron secar a temperatura ambiente un momento y para obtener un secado completo se colocaron en un horno a 105 °C por 2 horas y 30 minutos.

Posteriormente se colocaron las bolsas filtro en una mufla a 550 °C por 2 horas. Luego, se enfriaron en un desecador y se pesaron. El porcentaje de fibra se calculó siguiendo la Ecuación 2:

$$Fibra (\%) = \frac{(Pt - (Pi \times Pb))}{Pm} \times 100 \quad [2]$$

Donde:

Pt = Peso total de la muestra en gramos (harina más bolsa)

Pi = peso de la bolsa

Pb = Peso de la bolsa usado como blanco

Pm = Peso de la muestra

Cuantificación de Almidón

Se determinó según la metodología reportada por Yap et al. (2019). Se realizó una curva estándar con concentraciones conocidas de almidón de papa comercial de la marca Sigma-Aldrich (0.05, 0.10, 0.25, 0.30, 0.45, 0.50, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 1 mg/mL), y se realizó la lectura de su absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Agilent Technologies Cary 8454), para luego determinar la concentración de almidón en la cáscara de papa ($R^2 = 0.9998$).

Para la muestra se pesó 0.5 g de cáscara de papa, se molió con 2 mL de agua desionizada, y se pasó a un tubo de centrifugación de 15 mL. Luego, se aforó hasta 10 mL con agua fría y se centrifugó a 5500 rpm durante 10 minutos. Se retiró y desechó el sobrenadante, el precipitado se pasó a un beaker y se aforó hasta 30 mL con agua desionizada.

Posteriormente, se colocó en agitación magnética mientras se calentó hasta 95 °C, después se dejó enfriar hasta 50 °C y se filtró la suspensión en un matraz volumétrico de 50 mL. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se aforó hasta 50 mL con agua desionizada.

Finalmente, se diluyó la solución 1:10 con agua destilada. Se tomó 1 mL de la dilución y se agregaron 0.03 mL de solución de Lugol, se agitó en un vortex Fisher Scientific Digital durante 30 segundos y se midió su absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis a 600 nm.

Para calcular la concentración de almidón se reordenó la ecuación obtenida de la curva estándar y se multiplicó por el factor de dilución, como se muestra en la Ecuación 3:

$$\text{Concentración almidón} = \frac{(AU-b)}{m} \times FD \quad [3]$$

Donde:

AU = Absorbancia obtenida de la muestra a 600 nm.

b = Intercepto proveniente de la ecuación de la curva estándar.

m = Pendiente proveniente de la ecuación de la curva estándar.

FD = Factor de dilución de la muestra.

Caracterización de la Película

Se realizaron análisis físicos-mecánicos, químicos y de barrera a cada tratamiento de película comestible.

Análisis Físicos

Se analizó las propiedades mecánicas de interés haciendo uso de un analizador de textura Brookfield CT3, asimismo, se evaluó el color de las películas con el equipo Colorflex Hunterlab y el grosor con un micrómetro digital.

Grosor

Se midió el grosor con un micrómetro digital Mitutoyo con una precisión de ± 0.001 mm, se tomaron 15 puntos al azar para determinar el espesor de cada película.

Resistencia a la Perforación

Se siguió la metodología empleada por (Cesar 2018). Se cortaron círculos de 50 mm de diámetro de cada película. Se empleó un texturómetro Brookfield CT3 4500 con una sonda TA44 de 4 mm de diámetro a una velocidad de 1 mm/segundo hasta lograr una deformación de 3.80 mm. Se calculó la perforación usando la Ecuación 4:

$$\text{Resistencia a la perforación} = \frac{\text{Fuerza de ruptura (N)}}{\text{Grosor (mm)}} \quad [4]$$

Módulo de Young

Se realizó utilizando un texturómetro Brookfield CT3, en conjunto con una sonda TADGA, se empleó una distancia entre mordazas de 25 mm, y una velocidad inicial de 1 mm/segundo. Se cortó una tira de cada película de 73 mm de largo y 5 mm de ancho, se determinó el grosor de esta con un micrómetro marca Mitutoyo. Para determinar el módulo de Young, se puede calcular mediante la Ecuación 5:

$$\text{Módulo de Young} = \frac{\text{Estres de tensión (MPa)}}{\text{Deformación}} \quad [5]$$

Se graficaron los datos obtenidos de deformación y estrés de tensión para determinar el módulo de Young, el resultado de este fue la pendiente del área lineal de la gráfica (Kavoosi et al. 2014).

Fuerza de Tensión

Es definida como el esfuerzo requerido para fracturar una muestra (Liu et al. 2014). Se siguió la metodología propuesta por (Bohórquez et al. 2016), y se determinó mediante el cálculo de la Ecuación 6:

$$Fuerza\ de\ tensión = \frac{Cm}{At} \quad [6]$$

Donde:

Cm = Carga máxima (N).

At = Área transversal de la película (m^2).

Color

Se empleó un colorímetro Colorflex Hunter, con una escala L a b. Se cortó un círculo de 54 mm de diámetro de cada película y se analizó en el equipo. Los datos obtenidos se calcularon con la Ecuación 7 usada por (Cesar 2018):

$$\Delta E_{Lab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [7]$$

Donde $\Delta L = L - L_0$, $\Delta a = a - a_0$, $\Delta b = b - b_0$

L, a y b representan los valores del color de las muestras y L_0 , a_0 y b_0 representan los valores del tratamiento control ($L_0 = 70.685$, $a_0 = -1.25$, $b_0 = 9.19$).

Análisis de Barrera

Se realizaron los análisis de solubilidad en agua y permeabilidad al vapor de agua de cada tratamiento.

Solubilidad en Agua

Se cortaron círculos de cada película con un diámetro de 20 mm, se registró el peso inicial de estos y se colocaron en vasos de precipitación con 30 mL de agua destilada, durante 24 horas con agitación constante. Posteriormente, se eliminó el agua haciendo uso de un filtro para recuperar todos los sólidos provenientes de la película. Se secó el contenido obtenido después de la eliminación de agua en un horno a 105 °C por 24 horas.

Se registró el peso final luego del secado y se evaluó el porcentaje de solubilidad mediante la Ecuación 8:

$$\% \text{ de Solubilidad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad [8]$$

Donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

Se cortó un círculo de 25 mm de diámetro de cada película, se pesó y se insertó en la tapa de un vaso volumétrico con 30 mL de agua destilada. Se monitoreó y registró el peso a la misma hora durante nueve días consecutivos, se graficaron los datos obtenidos y posteriormente se calculó la PVA con la Ecuación 9:

$$PVA = m \times \frac{\text{Grosor de la película (m)}}{\text{Área de la película (m}^2\text{)} \times \text{Presión (kPa)}} \quad [9]$$

Donde:

m = Pendiente de la gráfica.

Presión = Presión del vapor de agua a 25°C en kPa.

Análisis Microbiológicos

Se utilizó la metodología descrita por Kavooosi et al. (2014) con modificaciones, las muestras de la película se probaron individualmente contra una bacteria Gram positiva (*Listeria monocytogenes*) y una bacteria Gram negativa (*Salmonella Typhimurium*).

Se usó el método de difusión en agar. Para ello, se cortaron discos de 1 cm de diámetro de las películas con un bisturí esterilizado. Se inoculó cada microorganismo en la superficie de una placa con agar cuenta estándar, y posteriormente se colocaron los discos en contacto directo con el medio. Se colocaron los platos Petri de forma invertida y se incubaron a 37 °C por 24 horas.

Para determinar la zona de inhibición se midió el halo obtenido con una regla y se le restó el diámetro de la película para evaluar así el potencial antimicrobiano de esta.

Análisis Químicos

pH

Se midió el pH utilizando un potenciómetro Orion Star. Para esto se introdujo el electrodo directamente en la solución filmogénica. Se realizó el análisis por triplicado (Quintanilla Portillo 2016).

Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2 × 2 (Cuadro 2) para la determinación de las propiedades mecánicas, de barrera y antimicrobianas de cada tratamiento.

Cuadro 2

Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)
TRAT1	75:25	0.5
TRAT2	75:25	1.5
TRAT3	50:50	0.5
TRAT4	50:50	1.5

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron haciendo uso del programa estadístico SAS® (Statistical Analysis Software) v.9.4, mediante un análisis de varianza (ANDEVA), separación de medias Duncan y se evaluaron las interacciones entre los factores principales por el método de cuadrados mínimos (LSMEANS con $P < 0.05$).

Resultados y Discusión

Caracterización de la Harina de Cáscara de Papa

La papa se considera el cuarto cultivo más importante en el mundo y su consumo ha pasado de producto fresco a producto elaborado en forma industrial (Cerón et al. 2014). Este ha sido utilizado en diferentes productos industriales además de ser empleado solamente como alimento, asimismo, se ha empleado en la producción de bioetanol, alimentación animal, bio-vajillas descartables, industria petrolera y en empaques (Jiménez R et al. 2010; CIP 2015; Santander 2021). Empresas como Mercadona han sustituido el uso de bolsas plásticas por bolsas compostables, a base de papa, como parte de su política de acción social sostenible (Mercadona 2021). Acorde con Cerón et al. (2014) aproximadamente 12% del total de la papa es cáscara, lo cual indica que los residuos y subproductos de la papa pueden llegar a ser de valor para la industria.

En la planta de postcosecha de Zamorano se registra una pérdida del total del peso de papa del 10-12%, debido principalmente a los desperdicios resultantes del pelado. Esta merma es similar a lo descrito por Prada (2009), que estima que el pelado de la papa ocasiona una merma del 5-10% alcanzando valores hasta del 30%.

Color

En el Cuadro 3 se observan los valores obtenidos a partir de la medición del color, donde se determinó que la harina de cáscara de papa presentó luminosidad cercana al blanco ($L = 58.42$) con matices amarillos y rojos. En la Figura 3 se muestra el color de la harina, el cual se obtuvo mediante el uso del programa Nix Color Sensor™ (Nix Sensor Ltd. 2020), este concuerda con lo demostrado por Hernández López y Rugama Rivera (2014) quienes infirieron que la harina de cáscara de papa presenta color oscuro en comparación con harinas obtenidas solamente de la papa. Asimismo, difieren de los valores L (70.12), a (5.88), b (24.83) obtenidos por Vega Montañó (2020), lo cual puede ser atribuido a las diferentes variedades de papa empleadas en los estudios.

Cuadro 3

Caracterización de la Harina de Cáscara de Papa.

Parámetro	Media* \pm D.E.	C.V. (%)
Fibra (%)	12.89 \pm 0.39	5.10
Humedad (%)	6.17 \pm 0.49	7.07
Almidón (%)	19.24 \pm 0.86	1.41
Color		
L	58.42 \pm 0.01	1.00
a	5.27 \pm 0.01	0.09
b	17.63 \pm 0.01	0.08

Nota. *Valores promedios obtenidos por triplicados de los análisis. D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación.

L = Luminosidad (0 = negro, 100 = blanco). a = (-60 = verde, +60 = rojo). b = (-60 = azul, +60 = positivo).

Figura 3

Color de la harina de cáscara de papa utilizada en la elaboración de las películas.



Fibra Cruda

La integración de fibras, sustentan la biodegradabilidad y actúan como refuerzo mecánico en matrices de almidón (Díaz Cárdenas 2017), debido a esta característica es necesario conocer la cantidad de fibra presente en la harina utilizada para la elaboración de las películas. Se obtuvo un 12.89% de fibra cruda en la harina de cáscara de papa (Cuadro 3), este valor concuerda con lo reportado por Amin y Zubair (2020) en el mismo tipo de harina (12.40% de fibra) evaluada para reemplazar parcialmente a la harina de trigo. Asimismo, el valor encontrado es similar al presente en otro estudio, el cual obtuvo valores de 16.32% de fibra (Badr y Waseif 2018). Sin embargo, acorde con la tabla de composición de alimentos, la harina de papa contiene 5.9% de fibra (INCAP y OPS 2012), esta diferencia en la cantidad presente en la harina se puede asociar con que la fibra se encuentra mayormente distribuida en la cáscara de la papa (Villavicencio y Zavala 2014), por lo cual la harina de cáscara de papa presenta mayor contenido de fibra que la harina de papa.

Almidón

El interés en el almidón como base de películas es debido a su bajo costo y fácil obtención, además de presentar capacidad de formación de películas (Caamal et al. 2011). Asimismo, el almidón tiene influencia en el espesor y la solubilidad en agua de las películas (Vázquez-Luna et al. 2019).

El contenido de almidón obtenido en este estudio fue de 19.24% (Cuadro 3), el cual concuerda con el contenido promedio en condiciones normales, ya que se encuentra dentro del rango del 18-28% (Prada 2009). Asimismo, la presencia de almidón determina la capacidad de gelificación de la cáscara de papa (Vega Montaña 2020).

Humedad

La harina presentó una humedad de 6.17% (Cuadro 3), lo cual es cercano al 7.2% de humedad encontrado por Hernández López y Rugama Rivera (2014) en harina de papa. Dichos valores son deseables ya que bajos porcentajes de humedad favorecen la vida útil del producto (Alonso et al. 2014).

No obstante, se obtuvo un valor menor que Villavicencio y Zavala (2014), quienes alcanzaron humedad del 12% en harina de papa, dicha diferencia se debe al menor tiempo de secado que utilizaron para la elaboración de la harina, el cual fue de 16 horas y en el presente estudio de 24 horas.

pH de las Películas

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución o mezcla acuosa (Gooch 2011). Este tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas, fisicoquímicas y morfológicas de las películas (Moreno Henao et al. 2020).

En el Cuadro 4 se muestran los pH obtenidos por cada tratamiento, donde el tratamiento tres fue el que presentó un valor menor, de 4.12.

Cuadro 4

Efecto de la proporción gelatina: HC de papa y AE de romero en el pH de las películas.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)	pH \pm D.E.
1	75:25	0.5	5.06 \pm 0.11 ^B
2	75:25	1.5	5.28 \pm 0.13 ^A
3	50:50	0.5	4.12 \pm 0.03 ^C
4	50:50	1.5	5.13 \pm 0.05 ^{AB}
C.V. (%)			2.19

Nota. ^{A-C} Medias con letras diferentes indican diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). pH = potencial de hidrógeno.

D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación

Además, se obtuvo diferencia significativa en los factores evaluados sobre el pH (Cuadro 5). Moreno Henao et al. (2020) reportaron que películas con un pH de 5.3 generan mejores propiedades mecánicas, y fisicoquímicas, que las películas de gelatina, caseinato de calcio y aceite de canola con pH de 6.6, ya que los pH básicos afectan la permeabilidad y propiedades mecánicas.

Cuadro 5

Probabilidad e interacción de la relación G: HC y AE de romero en el pH de las películas.

Variable	P
Relación gelatina: HC de papa	< 0.0001
AE de romero	< 0.0001
Relación G: HC de papa * AE de romero	< 0.0001
C.V. (%)	2.19

Nota. P = Probabilidad. HC de papa = Harina de cáscara de papa. G = Gelatina. AE de romero = Aceite esencial de romero

Efecto de la Proporción Gelatina:Harina de Cáscara de Papa y Aceite Esencial de Romero en el Grosor de las Películas

El grosor de las películas se ve afectado por su composición (Bohórquez et al. 2016). Los valores de grosor obtenidos (Cuadro 6) concuerdan con los encontrados por López et al. (2017) en películas biodegradables de almidón de papa con valores de espesor de 0.399 ± 0.008 mm. Sin embargo, son mayores que los encontrados por Bohórquez et al. (2016) quienes reportaron valores que van desde 0.063 a 0.104 mm. Estos últimos resultados fueron atribuidos a la inclusión de aceites esenciales, los cuales disminuyen significativamente el espesor en películas de quitosano, inferencia

que no concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, ya que la cantidad de aceite esencial de romero añadida no tiene un efecto ($P > 0.05$) sobre el grosor de la película.

Cuadro 6

Grosor de las películas.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)	Grosor (mm) \pm D.E.
1	75:25	0.5	0.43 \pm 0.01 ^A
2	75:25	1.5	0.39 \pm 0.01 ^B
3	50:50	0.5	0.39 \pm 0.02 ^B
4	50:50	1.5	0.39 \pm 0.02 ^B
C.V. (%)			4.67

Nota. ^{A-B} Medias con letras diferentes indican diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). mm = Milímetros. P = Probabilidad

D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación

La probabilidad mostrada en el Cuadro 7 indica que la proporción de gelatina:harina, y la interacción entre los factores evaluados tuvieron diferencia significativa ($P < 0.05$) teniendo así un efecto en el grosor de las películas. Sin embargo, difieren de los resultados obtenidos por Bohórquez et al. (2016), quien encontró que el aceite esencial presentaba diferencias significativas en películas con quitosano y tomillo.

Cuadro 7

Probabilidad e interacción de la G: HC de papa y AE de romero en el grosor.

Variable	P
Relación gelatina: HC de papa	0.0270
AE de romero	0.0675
Relación G:HC de papa * AE de romero	0.0358
C.V. (%)	4.67

Nota. P = Probabilidad. HC de papa = Harina de Cáscara de papa. G = Gelatina. AE de romero = Aceite Esencial de romero

Además, al grosor de las películas tiene efectos en otras características de las películas, ya que acorde con Solano-Doblado et al. (2018) un incremento en el grosor en películas con quitosano y sorbitol presenta asimismo un aumento en la permeabilidad al agua.

Efecto de la Proporción Gelatina:Harina y Aceite Esencial de Romero en la Resistencia a Perforación de las Películas

Este parámetro indica la resistencia que posee un material al ser desgarrado en algún punto de su superficie (Garde 2015). La resistencia que determina la norma ASTM D-638 para plásticos está entre un rango de 14-140 MPa (Acosta et al. 2018). Los resultados obtenidos en todos los tratamientos (Cuadro 8) se encontraron dentro de este rango, debido a lo cual se infiere que cumplen con este parámetro para poder ser utilizados a nivel industrial.

Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por Aguilar-Méndez et al. (2012) el cual fue de 8.83 a 50 N/mm en películas de gelatina y carboximetilcelulosa, donde al disminuir el pH y contenido de glicerol se produjeron películas con menores resistencia a la perforación. En dicho estudio se reportó que a un pH de 3.17, la resistencia a la perforación se reducía a 8.83 N/mm. Sin embargo, en la presente investigación el tratamiento tres obtuvo un pH de 4.12, y presentó valores de resistencia a la perforación mayores (28.43 N/mm) que los mencionados previamente.

Cuadro 8

Resistencia a la perforación de las películas.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)	Resistencia a la perforación (N/mm) \pm D.E.
1	75:25	0.5	51.86 \pm 3.98 ^A
2	75:25	1.5	57.19 \pm 4.45 ^A
3	50:50	0.5	28.43 \pm 0.93 ^B
4	50:50	1.5	53.23 \pm 4.71 ^A
C.V. (%)			8.04

Nota: ^A^B Medias con letras iguales indican que no hay diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). N/mm = Newtons / milímetros.

D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación.

Los resultados en el Cuadro 9 demuestran que ambos factores evaluados son significativos en el análisis ($P < 0.05$). Se demostró la interacción entre la proporción gelatina: harina y el aceite esencial de romero sobre la resistencia a la perforación de las películas.

Cuadro 9

Probabilidad e interacción de la G:HC de papa y AE de romero en la resistencia a la perforación.

Variable	P
Relación gelatina: HC de papa	< 0.0001
AE de romero	< 0.0001
Relación G:HC de papa * AE de romero	< 0.0001
C.V. (%)	8.04

Nota. P = Probabilidad. HC de papa = Harina de Cáscara de papa. G = Gelatina. AE de romero = Aceite Esencial de romero

Las películas con mayor proporción de gelatina (75%) presentaron mayor resistencia a la perforación que aquellas que contienen mayor proporción de harina de cáscara de papa (50%) y menor porcentaje de aceite esencial de romero (0.5%). Sin embargo, aún en las películas con la misma proporción gelatina: harina de cáscara (Proporción 50:50) se obtuvieron valores de resistencia a la perforación mayores que los reportados por Díaz-Ramírez (2018) en películas con pectina de cáscara de piña.

Efecto en el Módulo de Young y la Fuerza de Tensión

De acuerdo con Vieira et al. (2006), la fuerza de tensión y el módulo de Young son indicadores comunes usados para describir las propiedades mecánicas de las películas y están relacionadas a su composición. El módulo de Young es una medida de la rigidez de un material elástico y se define como la relación entre el esfuerzo de estrés y la deformación (Ma et al. 2015).

En el Cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del módulo de Young y la fuerza de tensión, así como las diferencias entre los tratamientos. En ambos análisis se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los parámetros evaluados, así como en la interacción entre los factores (Cuadro 11).

Cuadro 10*Módulo de Young y Fuerza de Tensión.*

TRT	Relación Gelatina: Harina	AE de romero (%)	Módulo de Young (MPa) ± D.E.	Fuerza de tensión (MPa) ± D.E.
1	75:25	0.5	17.02 ± 1.471 ^B	4.85 ± 0.12 ^A
2	75:25	1.5	14.16 ± 1.094 ^C	2.68 ± 0.25 ^C
3	50:50	0.5	36.23 ± 1.912 ^A	3.73 ± 0.34 ^B
4	50:50	1.5	14.99 ± 1.537 ^C	3.14 ± 0.24 ^{BC}
C.V. (%)			7.09	7.35

Nota. ^{A-C} Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias entre tratamientos (P < 0.05). TRT= Tratamiento.

AE de romero = Aceite Esencial de romero. MPa = Megapascales. P = Probabilidad. D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación.

Cuadro 11*Probabilidad e interacción de la G: HC de papa y AE de romero en el Módulo de Young y la Fuerza de Tensión.*

Variable	Módulo de Young (P)	Fuerza de Tensión (P)
Relación gelatina: HC de papa	< 0.0001	0.0188
AE de romero	< 0.0001	< 0.0001
Relación G: HC de papa * AE de romero	< 0.0001	< 0.0001
C.V. (%)	7.09	7.35

Nota. P = Probabilidad. HC de papa = Harina de Cáscara de papa. G = Gelatina. AE de romero = Aceite Esencial de romero

Los tratamientos dos y cuatro, con mayor cantidad de aceite esencial de romero (1.5%) presentaron módulo de Young bajo, lo que acorde con lo descrito por Ma et al. (2015), indica una menor fragilidad de la película, ya que los materiales con módulo de Young alto indican una fragilidad alta. Los resultados obtenidos difieren de los reportados por Kavoosi et al. (2014) ya que son mayores que sus valores alcanzados (5.7-8.8 MPa) en películas de gelatina con aceite esencial de *Zataria multiflora*.

Se observó que los tratamientos dos y cuatro con mayor adición de aceite esencial de romero (1.5%) presentaron menor fuerza de tensión, lo cual concuerda con los resultados encontrados por Bohórquez et al. (2016) quienes también reportaron que la fuerza de tensión disminuye al aumentar el contenido de aceite esencial de romero en películas con quitosano, esto puede ser atribuido a que la inclusión de aceites esenciales debilitan los uniones del hidrógeno en la matriz.

Resultados de fuerza de tensión menores fueron reportados por Peretto et al. (2014), quienes presentaron valores de 2.07-2.38 MPa en películas a base de pure de fresa y carvacrol, debido a que la naturaleza hidrofóbica de este último y el alto contenido de agua en la película aumentó la presencia de burbujas, debilitándola.

Efecto de la Proporción Gelatina: Harina de Cáscara de Papa y Aceite Esencial de Romero en el Color

El color es determinado por la proporción gelatina:harina de cáscara de papa, ya que el contenido de aceite esencial de romero no presentó diferencia estadística significativa ($P > 0.05$), ni hubo interacción entre los factores (Cuadro 13).

Los tratamientos con mayor cambio de color con respecto al tratamiento control (Película elaborada únicamente con gelatina) fueron el tres y cuatro (Cuadro 12), en los cuales se detectaron valores en la escala L más bajos, lo cual significa colores más oscuros.

Cuadro 12

Efecto de la proporción gelatina: HC de papa y AE de romero en el color de las películas.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)	$\Delta E \pm D.E.$
1	75:25	0.5	33.44 ± 2.40^B
2	75:25	1.5	32.00 ± 2.40^B
3	50:50	0.5	41.98 ± 1.29^A
4	50:50	1.5	40.98 ± 2.08^A
C.V. (%)			5.66

Nota. ΔE = Diferencia de color de la película con respecto al control. Donde $L_0 = 70.685$, $a_0 = -1.25$, $b_0 = 9.19$. ^{A-B} Medias con letras diferentes indican diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). P = Probabilidad. D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación

Debido a que en los tratamientos con mayor contenido de harina de cáscara de papa se detectaron colores más oscuros que en los tratamientos uno y dos, se infiere que el color obtenido en la película está definido por el color de la harina. Cesar (2018) evaluó la diferencia de color en películas con orégano, almidón de maíz y yuca, y encontró que el tratamiento con mayor color es el que corresponde al tratamiento con mayor porcentaje de orégano, esto puede ser debido a que el porcentaje de orégano en la película fue de 6%.

Cuadro 13

Probabilidad e interacción de la relación G:HC y AE de romero en el color de las películas

Variable	P
Relación gelatina: HC de papa	< 0.0001
AE de romero	0.2129
Relación G: HC de papa * AE de romero	0.8186
C.V. (%)	5.66

Nota. P = Probabilidad. HC de papa = Harina de Cáscara de papa. G = Gelatina. AE de romero = Aceite Esencial de romero

Efecto de la Proporción Gelatina:Harina de Cáscara de Papa y Aceite Esencial de Romero en la Solubilidad en Agua y Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

La solubilidad es una característica importante ya que, define la aplicabilidad de los bioplásticos (Cesar 2018). En el Cuadro 14 se muestra la solubilidad obtenida en cada tratamiento, siendo el tratamiento cuatro el que presentó mayor solubilidad en agua con una relación 50% de gelatina y 50% harina de cáscara de papa, y una solubilidad de 80.09%. Los resultados obtenidos (Cuadro 15) mostraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) y la proporción gelatina: harina de cáscara de papa tuvo efecto en este parámetro. Sin embargo, el porcentaje de aceite esencial de romero no tuvo un efecto estadísticamente significativo por si solo en la solubilidad, pero si en la interacción proporción gelatina: harina y aceite esencial de romero.

En el Cuadro 14 se muestran los resultados obtenidos de permeabilidad al vapor de agua (PVA). Se encontró que los tratamientos uno y dos presentaron mayor PVA en un rango de $0.0050 \pm 0.0004 \text{ g/h} \cdot \text{m} \cdot \text{KPa}$, el cual se puede deber a su contenido de gelatina (75%), debido a su característica hidrofílica (Scartazzini et al. 2019).

Cuadro 14

Efecto de la Proporción G: HC de Papa y AE de Romero en la Solubilidad y PVA.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)	Solubilidad (%) ± D.E.	PVA (g/h*m*KPa) ± D.E.
1	75:25	0.5	61.64 ± 2.18 ^C	0.0050 ± 0.0003 ^A
2	75:25	1.5	64.37 ± 2.07 ^{BC}	0.0050 ± 0.0004 ^A
3	50:50	0.5	80.09 ± 7.60 ^A	0.0045 ± 0.0003 ^B
4	50:50	1.5	70.73 ± 6.97 ^B	0.0044 ± 0.0004 ^B
C.V. (%)			7.79	7.00

Nota. ^{A-C} Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). D.E. = Desviación Estándar.

C.V. = Coeficiente de Variación

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo encontrado por Quintanilla Portillo (2016) donde a mayor concentración de gelatina hubo menor solubilidad en agua, lo cual se puede deber al incremento en el porcentaje de gelatina. Asimismo, Cesar (2018) encontró que la incorporación de fibra aumentó la solubilidad de los bioplásticos, lo cual puede explicar la razón por la cual los tratamientos con mayor proporción de harina de cáscara de papa son más solubles, debido al contenido de fibra que esta harina aporta. Sin embargo, difiere con lo encontrado por León-Leyva et al. (2018) ya que a medida aumentaba el porcentaje de gelatina hubo un aumento en la solubilidad en agua de películas con gelatina, glicerol y almidón.

El Cuadro 15 indica que la proporción gelatina:harina de cáscara de papa tuvo efecto en la PVA, sin embargo, no se presentó efecto del aceite esencial de romero ni interacción de ambos factores en la permeabilidad. Por lo cual, en este estudio la PVA se ve determinada por la relación gelatina:harina de cáscara de papa.

Cuadro 15

Probabilidad e interacción de la relación G: HC y AE de romero en la solubilidad.

Variable	Solubilidad (P)	PVA (P)
Relación gelatina: HC de papa	< 0.0001	0.0016
AE de romero	0.1876	0.4828
Relación G: HC de papa * AE de romero	0.0234	0.8792
C.V. (%)	7.79	7.00

Nota. P = Probabilidad. HC de papa = Harina de Cáscara de papa. G = Gelatina. AE de romero = Aceite Esencial de romero

Los resultados concuerdan con los obtenidos por León-Leyva et al. (2018) en películas de almidón, gelatina y glicerol, ya que la PVA incrementa al aumentar la cantidad de gelatina. Esto se debe a la alta higroscopicidad de este componente, ya que tiene una alta afinidad por las moléculas de agua, dando como resultado mayor permeabilidad. Resultados diferentes fueron reportados por Peretto et al. (2014) y Bohórquez et al. (2016), quienes encontraron que la PVA disminuía al incorporar aceites esenciales de carvacrol, romero y tomillo en películas de pure de fresa y quitosano respectivamente, la diferencia en el decremento de la permeabilidad puede atribuirse a un menor contenido del aceite esencial en este estudio.

Propiedades Antimicrobianas de las Películas

En el Cuadro 16 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del halo de inhibición en milímetros (mm) de la película contra *Listeria monocytogenes* y *Salmonella* Typhimurium. Se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) para la proporción gelatina: harina, aceite esencial de romero y la interacción de estos (Cuadro 17) en la evaluación del halo de inhibición contra *Salmonella* Typhimurium. Sin embargo, ningún tratamiento presentó inhibición contra *Listeria monocytogenes*.

Cuadro 16

Efecto de la proporción G: HC de papa y AE de romero en la actividad antimicrobiana de las películas.

Tratamiento	Relación Gelatina: Harina	Aceite esencial de romero (%)	Diámetro Zona de Inhibición (mm) \pm D.E.	
			<i>Salmonella</i> Typhimurium	<i>Listeria monocytogenes</i>
1	75:25	0.5	10.00 \pm 0.01 ^C	10.00 \pm 0.01 ^A
2	75:25	1.5	19.50 \pm 0.71 ^A	10.00 \pm 0.01 ^A
3	50:50	0.5	16.50 \pm 0.71 ^B	9.25 \pm 3.82 ^{AB}
4	50:50	1.5	17.00 \pm 1.41 ^B	10.00 \pm 0.01 ^A
C.V. (%)			7.3	3.82

Nota. ^{A-C} Medias con letras diferentes indican diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$). P = Probabilidad. G = Gelatina. HC de papa = Harina de Cáscara de Papa. AE de romero = Aceite Esencial de romero. 10.00 \pm 0.01 = No presentó inhibición (Tamaño de la película). D.E. = Desviación Estándar. C.V. = Coeficiente de Variación

El tratamiento dos fue el que obtuvo mayor halo de inhibición, de 19.5 mm, contra *Salmonella* Typhimurium, este contenía mayor porcentaje de aceite esencial de romero (1.5%) y mayor

proporción de gelatina. Estos resultados concuerdan con los reportado por Castaño et al. (2017), quienes reportaron un halo de inhibición de 19.8 y 25 mm contra esta bacteria.

El aceite esencial de romero no presentó inhibición contra *Listeria monocytogenes*, el cual concuerda con lo encontrado por Castaño et al. (2017), ya que el aceite esencial presenta mayor actividad contra bacterias Gram negativas que contra las Gram positivas. Sin embargo, difiere de lo reportado por Bohórquez et al. (2016) quienes obtuvieron un halo de inhibición de 10 mm contra *Listeria monocytogenes*, lo cual se debe a la inclusión de aceite esencial de tomillo y romero en películas a base de quitosano.

Cuadro 17

Probabilidad e interacción de la relación G:HC y AE de romero en la actividad antimicrobiana de las películas contra Salmonella Typhimurium

Variable	P
Relación gelatina: HC de papa	<0.0001
AE de romero	<0.0001
Relación G: HC de papa * AE de romero	<0.0001
C.V. (%)	7.30

Nota. P = Probabilidad. C.V. = Coeficiente de Variación. HC de papa = Harina de cáscara de Papa. G = Gelatina. AE = Aceite Esencial de romero

La mayor actividad del aceite esencial de romero fue contra las bacterias Gram negativas, que contra las Gram positivas. Esto puede relacionarse con las diferencias en la pared celular, ya que las Gram positivas presentan una membrana externa con alto porcentaje de lípidos que protegen la integridad de la célula haciéndola menos sensibles a los compuestos antimicrobianos de los aceites esenciales (Hernández-Ochoa et al. 2011).

Además, el aceite esencial de romero ha sido empleado en la elaboración de diversas películas con efecto antimicrobiano contra bacterias como *S. aureus*, *B. subtilis*, *E. coli*, y *P. aeruginosa* (Hernández-Ochoa et al. 2011; Kavoosi et al. 2014; Bohórquez et al. 2016). Su efecto antimicrobiano se debe a los compuestos 1.8-cineol y alcanfor, presentes en el aceite esencial de romero (Yeddes et al. 2020).

Conclusiones

Se elaboró una película comestible a base de harina de papa y con aceite esencial de romero como agente antimicrobiano.

La incorporación de mayores porcentajes de gelatina aumentó la permeabilidad al vapor de agua de las películas, sin embargo, mejoró las propiedades mecánicas de resistencia a la perforación, módulo de Young y fuerza de tensión. El aceite esencial de romero incrementó la resistencia a la perforación. Además, la inclusión de harina de cáscara de papa redujo la permeabilidad al vapor de agua, y aumentó la solubilidad.

Se determinó que películas con 12.8% de gelatina, 4.3% de harina de cáscara de papa, 6.4% de glicerol y 1.5% de aceite esencial de romero presentaron actividad antimicrobiana frente a las bacterias Gram positivas *Salmonella Typhimurium* . Sin embargo, ningún tratamiento logró inhibir la bacteria *Listeria monocytogenes*, a las concentraciones evaluadas de aceite esencial de romero.

Recomendaciones

Desarrollar un estudio de vida de anaquel en productos hortofrutícolas para observar el efecto del uso de la película en el tiempo.

Realizar prueba de biodegradabilidad de las películas.

Determinar la formulación óptima de películas con harina de cáscara de papa, y su aplicación en alimentos específicos, utilizando el método de superficie de respuesta.

Referencias

- Acosta J, Gomajoa H, Benavides Y, Charfuelan A, Valenzuela F. 2018. Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura*. 1(1). doi:10.21931/RB/CS/2018.01.01.2.
- Aguilar MA. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. [Tesis]. México: Instituto Politécnico Nacional-México. 69 p; [consultado el 12 de sep. de 2020]. <https://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/10573>.
- Aguilar-Méndez MA, San Martín-Martínez E, Espinoza-Herrera NL, Sánchez-Flores M, Cruz-Orea A, Ramírez-Ortíz ME. 2012. Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Superficies y vacío*; [consultado el 28 de jun. de 2021]. 25(1):1–7. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-35212012000100001&lng=es&tlng=es.
- Alonso J, García-Jarquín KZ, González-Lindo L, Benavente M. 2014. Producción de harina de papa para puré instantáneo. *Nexo*; [consultado el 18 de jun. de 2021]. 27(02):99–114. <https://www.lamjol.info/index.php/NEXO/article/download/1946/1743/0>.
- Amin J, Zubair R. 2020. Proximate analysis of potato peel composite flour chapatti. *The International Journal of Global Sciences (TIJOGS)*; [consultado el 21 de jun. de 2021]. 3(1):1–7. http://rndjournals.com/uploads/documents/file_600_149.pdf.
- Anzuetto FM. 2019. Efecto de la miel de abeja (*Apis mellifera*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de la jalea real [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 30 p; [consultado el 10 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6481/1/AGI-2019-T003.pdf>.
- Araujo Cruz CF. 2019. Efecto antimicrobiano de aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgare*) individuales y en combinación contra *Salmonella Typhimurium* [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 23 p; [consultado el 12 de sep. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6483?locale=es>.
- Arias-Rios EV, Cabrera-Díaz E, Márquez-González M, Castillo A. 2017. Natural Food Antimicrobials of Animal Origin. En: Juneja VK, Dwivedi HP, Sofos JN, editores. *Microbial Control and Food Preservation*. Vol. 18. New York, NY: Springer. p. 55–83.
- Badr SA, Waseif MA. 2018. Potato peels powder addition as fat replacer on quality characteristics and energy value of beef meatballs. *Journal of Biology, Chemistry and Environmental Sciences*; [consultado el 21 de jun. de 2021]. 13(1):145–160. <https://cutt.ly/1QL3Mlz>.
- Bohórquez NV, Enciso NAA, Hernández WA. 2016. Efecto del almacenamiento sobre las propiedades físicas de las películas de quitosano con inclusión de aceites esenciales de tomillo y romero. *Matéria*. 21(1):141–156. doi:10.1590/S1517-707620160001.0013.
- Caamal I, Pereira F, Madera TJ. 2011. Caracterización óptica y mecánica de películas comestibles a base de mezclas binarias de almidones de *Phaseolus lunatus L*, *Manihot esculenta Crantz* y *Zea mays L*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*; [consultado el 22 de jun. de 2021]. 12(1):101–109. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81318808016.pdf>.

- Castaño HI, Ciro G, Zapata JE, Jiménez S. 2017. Bactericidal Activity Of Ethanolic Leaf Extract And Leaf Essential Oil Of *Rosmarinus officinalis* L. On Some Foodborne Bacteria. *Vitae*; [consultado el 10 de jun. de 2021]. 17(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042010000200006.
- Cerón AF, Bucheli MA, Osorio O. 2014. Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad Parda Pastusa (*Solanum tuberosum*). *Acta Agronómica*; [consultado el 10 de jun. de 2021]. 63(2):1–12. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169930904002.pdf>.
- Cesar A. 2018. Desarrollo, caracterización y validación de un bioplástico reforzado con orégano con acción antifúngica contra alternaria (*Alternaria alternata*) [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 42 p; [consultado el 26 de sep. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6228/1/AGI-2018-T016.pdf>.
- Chariguamán Chanatasig JA. 2015. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.) [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 68 p; [consultado el 12 de sep. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>.
- [CIP] Centro Internacional de la Papa. 2015. Procesamiento y Usos de la Papa. Perú: [sin editorial]; [consultado el 10 de jun. de 2021]. <https://cipotato.org/es/lapapa/procesamiento-y-usos-de-la-papa/>.
- Díaz Cárdenas XJ. 2017. Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termopresado [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 53 p; [consultado el 21 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6055/1/AGI-2017-021.pdf>.
- Díaz-Ramírez M. 2018. Películas comestibles elaboradas con pectina de cáscara de piña (*Ananas comosus* L.). *Agro Productividad*. 11(11):35–40. doi:10.32854/agrop.v11i11.1280.
- Domínguez MF, Jiménez MT. 2012. Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*; [consultado el 11 de jun. de 2021]. 6(2):110–121. <https://tsia.udlap.mx/peliculas-comestibles-formuladas-con-polisacaridos-propiedades-y-aplicaciones-2/>.
- Fierro MA, Osorio CA, Fandiño L, Rondón I. 2011. Resistencia Antibiótica en *Salmonella* enterica serovar *Typhimurium* aisladas de granjas porcícolas en el departamento del Tolima. Orinoquia; [consultado el 10 de jun. de 2021]. 15(1):71–78. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v15n1/v15n1a08.pdf>.
- Garde JA. 2015. Materiales Flexibles (FILMS) . [sin lugar]: AINIA; [consultado el 10 de jun. de 2021]. <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/films?OpenDocument>.
- Gooch JW. 2011. pH. En: Gooch JW, editor. *Encyclopedic Dictionary of Polymers*. New York, NY: Springer New York. p. 529.
- Hernández López L, Rugama Rivera IM. 2014. Diseño del proceso productivo de Harina de papa a nivel de laboratorio, para las cooperativas Multisectorial El Triunfo, R.L y Cooperativa Agropecuaria de Crédito y Servicios Productores de Papa del Norte, R.L (PROPAN) en la comunidad la Laguna; municipio de San Nicolás, Departamento Estelí [Tesis]. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería. 122 p; [consultado el 19 de jun. de 2021]. <http://ribuni.uni.edu.ni/2442/1/AGRO28.pdf>.

- Hernández-Ochoa L, Gonzales-Gonzales A, Gutiérrez-Mendez N, Muñoz-Castellanos LN, Quintero-Ramos A. 2011. Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista mexicana de ingeniería química*; [consultado el 22 de jun. de 2021]. 10(3):455–463. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000300011&lng=es&tlng=es.
- [INCAP] Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, [OPS] Organización Panamericana de la Salud. 2012. Tabla de composición de alimentos. 2ª ed. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá; [consultado el 21 de jun. de 2021]. 137 p. <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/tablacalimentos.pdf>.
- Jiménez R, San Martín F, Huamán H, Ara M, Huamán A. 2010. Subproductos de papa en la alimentación estratégica de ovinos durante la estación seca en el Valle del Mantaro. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*; [consultado el 10 de jun. de 2021]. 21(1):11–18. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172010000100002.
- Kavoosi G, Rahmatollahi A, Mohammad Mahdi Dadfar S, Mohammadi Purfard A. 2014. Effects of essential oil on the water binding capacity, physico-mechanical properties, antioxidant and antibacterial activity of gelatin films. *LWT - Food Science and Technology*. 57(2):556–561. doi:10.1016/j.lwt.2014.02.008.
- León-Leyva AP, Camacho-Hernández IL, Zazueta-Morales JJ, Calderón-Castro A, Fitch-Vargas P, Aguilar-Palazuelos E. 2018. Desarrollo y caracterización de películas comestibles elaboradas a partir de almidón acetilado por extrusión y gelatina. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*; [consultado el 12 de sep. de 2020]. 3:714–720. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/117.pdf>.
- Liu CK, Latona NP, Taylor M. 2014. Preparations of nonwoven and green composites from collagen fibrous networks. *Journal American Leather Chemists Association*; [consultado el 10 de jun. de 2021]. 109(2):35–40. https://www.researchgate.net/publication/260597673_Preparations_of_nonwoven_and_green_composites_from_collagen_fibrous_networks_Liu_C-K_Latona_N-P_and_Taylor_M.
- López EF, Cerón A, Osorio O, Checa OE, Villada HS. 2017. Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*; [consultado el 10 de jun. de 2021]. 2:582–587. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume2/3/10/95.pdf>.
- Ma YZ, Sobernheim D, Garzon JR. 2015. Glossary for Unconventional Oil and Gas Resource Evaluation and Development. En: Zee Ma Y, Holditch S, editores. *Unconventional Oil and Gas Resources Handbook*. Vol. 23. [sin lugar]: Gulf Professional Publishing. p. 513–526.
- Mercadona. 2021. Mercadona fulfils its commitment to eliminate single-use plastic bags from all its supermarkets. España: Mercadona; [consultado el 10 de jun. de 2021]. <https://info.mercadona.es/en/lets-protect-the-planet/our-actions/mercadona-fulfils-its-commitment-to-eliminate-single-use-plastic-bags-from-all-its-supermarkets/news>.
- Moreno M, Ottens M. 2021. A Structured Approach to Recover Valuable Compounds from Agri-food Side Streams. *Food and Bioprocess Technology*. 14:1387–1406. doi:10.1007/s11947-021-02647-6.

- Moreno Henao M, Bohórquez Pérez Y, Ayala Sánchez L, Valenzuela Real C. 2020. Efecto del pH sobre propiedades mecánicas, fisicoquímicas y morfológicas en películas comestibles multicomponentes. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 23(1):1–8. doi:10.31910/rudca.v23.n1.2020.1457.
- Nix Sensor Ltd. 2020. Nix Color Sensor. Canada: Nix Color Sensor; [consultado el 20 de jun. de 2021]. <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>.
- Peretto G, Du W-X, Avena-Bustillos RJ, Sarreal SBL, Hua SST, Sambo P, McHugh TH. 2014. Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. *Postharvest Biology and Technology*. 89:11–18. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.11.003.
- Prada R. 2009. Alternativa de aprovechamiento de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Revista Escuela de Administración de Negocios*; [consultado el 18 de jun. de 2021]. (72):180–192. <http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n72/n72a12.pdf>.
- Quintanilla Portillo TC. 2016. Efecto de recubrimiento a base de gelatina de colágeno durante el almacenamiento del músculo *semitendinosus* de res, en dos tipos de empaque. [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 58 p; [consultado el 12 de sep. de 2020]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5839/1/AGI-2016-T036.pdf>.
- Ramos García ML, Bautista S, Barrera LL, Bosquez E, Alia I, Estrada M. 2010. Antimicrobial Compounds Added in Edible Coatings for Use in Horticultural Products. *Revista Mexicana de Fitopatología*; [consultado el 11 de jun. de 2021]. 28(1):44–57. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v28n1/v28n1a5.pdf>.
- Santander. 2021. ODA Biovajilla: la historia del emprendimiento que utiliza la cáscara de papa a favor del medio ambiente. Argentina: Banco Santander; [consultado el 10 de jun. de 2021]. <https://santanderpost.com.ar/articulo/oda-biovajilla-la-historia-del-emprendimiento-que-utiliza-la-cascara-de-papa-a-favor-del-medio-ambiente/>.
- Scartazzini L, Tosati JV, Cortez DHC, Rossi MJ, Flôres SH, Hubinger MD, Di Luccio M, Monteiro AR. 2019. Gelatin edible coatings with mint essential oil (*Mentha arvensis*): film characterization and antifungal properties. *J Food Sci Technol*. 56(9):4045–4056. eng. doi:10.1007/s13197-019-03873-9.
- Solano-Doblado LG, Alamilla-Beltrán L, Jiménez-Martínez C. 2018. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 21:30. doi:10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153.
- Vázquez-Luna A, Santiago M, Rivadeneyra-Domínguez E, Díaz-Sobac R. 2019. Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*. 13(2):152–164. doi:10.29059/cienciauat.v13i2.1105.
- Vega Montaña NP. 2020. Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 26 p; [consultado el 20 de jun. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6943/1/AGI-2020-T049.pdf>.
- Vieira T, Castanho J, Louro C. 2006. Hard Coatings Based on Metal Nitrides, Metal Carbides and Nanocomposite Materials: PVD Process and Properties. En: Pauleau Y, editor. *Materials*

Surface Processing by Directed Energy Techniques. Vol. 33. 1^a ed. [sin lugar]: Elsevier Science. p. 537–572.

Villavicencio DZ, Zavala JS. 2014. Obtención de la Harina de Papa como Sustituto Parcial en la Elaboración de Pan Tipo Enrollado [Tesis]. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. 95 p; [consultado el 10 de jun. de 2021]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89570/D-79918.pdf>.

Yap PY, Jain A, Trau D. 2019. Quantification of Soluble Starch From Fresh Potatoes Using Photopette. Singapore: Tip Biosystems; [consultado el 11 de jun. de 2021]. 4 p. https://tipbiosystems.com/wp-content/uploads/2020/05/ANE01-Starch-application-note_2019_v6.pdf.

Yeddes W, Djebali K, Aidi Wannes W, Horchani-Naifer K, Hammami M, Younes I, Saidani Tounsi M. 2020. Gelatin-chitosan-pectin films incorporated with rosemary essential oil: Optimized formulation using mixture design and response surface methodology. *Int J Biol Macromol.* 154:92–103. eng. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.03.092.

Anexo

Anexo A

Cuadro de correlación entre las propiedades físico-mecánicas, químicas y de barrera.

	RP	MY	FT	G	S	PVA	pH
RP	1.00000	-0.93367*	-0.07337	0.14005	-0.66500*	0.24034	0.90126*
MY	-0.93367*	1.00000	0.12894	-0.21499	0.68325*	-0.23933	-0.95788*
FT	-0.07337	0.12894	1.00000	0.44823*	-0.22767	0.23542	-0.15688
G	0.14005	-0.21499	0.44823*	1.00000	-0.63270*	0.73622*	0.26195
S	-0.66500*	0.68325*	-0.22767	-0.63270*	1.00000	-0.66370*	-0.70883*
PVA	0.24034	-0.23933	0.23542	0.73622*	-0.66370*	1.00000	0.34334
pH	0.90126*	-0.95788*	-0.15688	0.26195	-0.70883*	0.34334	1.00000

Nota. * = $P < 0.05$. RP = Resistencia a la perforación. MY = Módulo de Young. FT = Fuerza de tensión. G = Grosor. S = Solubilidad.

PVA = Permeabilidad al Vapor de Agua.